



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-113906

(43) 公開日 平成7年(1995)5月2日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 2 B 5/18

識別記号 庁内整理番号  
9018-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平5-259639

(22) 出願日 平成5年(1993)10月18日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 塩野 照弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 小川 久仁

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 池内 寛幸 (外1名)

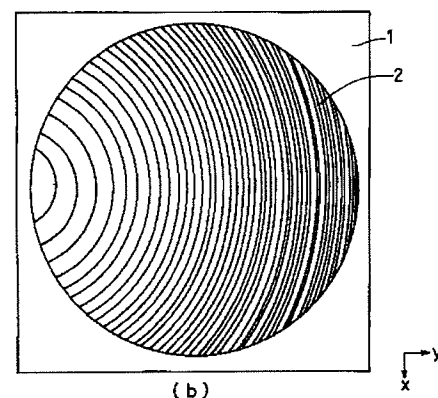
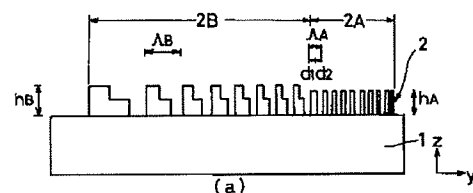
(54) 【発明の名称】 回折光学素子

(57) 【要約】

【目的】 斜め入射光に対して光学素子全域にわたって回折効率がよく、かつグレーティング周期の小さい領域でも作製が容易である回折光学素子を提供する。

【構成】 基板1の上に断面が階段形状のグレーティング部2を形成し、グレーティング部2のグレーティング周期が大きい領域2Bでは階段形状のステップ数を3とし、グレーティング周期が小さい領域2Aでは階段形状のステップ数は2とする。

1 : 基板  
2 A : グレーティング部  
2 B : グレーティング部



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、前記基板上に形成したグレーティング部を具備する回折光学素子であって、前記グレーティング部の断面は階段形状であり、前記グレーティング部の周期に応じて前記グレーティング部の階段形状のステップ数が異なることを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】 階段形状のステップ数は、グレーティング部の周期が小さくなるにつれて徐々に小さくなることを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【請求項3】 グレーティング部の周期が入射波長の第1の所定数倍より大きい領域ではステップ数は3以上であり、グレーティング部の周期が入射波長の第1の所定数倍より小さい領域ではステップ数は2であり、前記第1の所定数は1.5～3の間のいずれかの値であることを特徴とする請求項2記載の回折光学素子。

【請求項4】 ステップ数が2の領域では、グレーティング部のデューティ比（1つの周期における空気層以外の領域の割合）は0.15～0.5の間のいずれかの値であることを特徴とする請求項3記載の回折光学素子。

【請求項5】 グレーティング部の周期が入射波長の第2の所定数倍より大きい領域ではステップ数は4以上であり、グレーティング部の周期が入射波長の第2の所定数倍よりも小さく、かつ第1の所定数倍より大きい領域ではステップ数は3であり、前記第2の所定数は2～5の間のいずれかの値（ただし、前記第1の所定数は前記第2の所定数よりも小さい）であることを特徴とする請求項3記載の回折光学素子。

【請求項6】 グレーティング部の周期が入射波長の第3の所定数倍より大きい領域ではステップ数は5以上であり、前記第3の所定数倍より小さく前記第2の所定数倍より大きい領域ではステップ数は4であり、前記第3の所定数は4～7の間のいずれかの値（ただし、前記第2の所定数は前記第3の所定数よりも小さい）であることを特徴とする請求項4記載の回折光学素子。

【請求項7】 グレーティング部の最大膜厚は、ステップ数に応じて異なることを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【請求項8】 グレーティング部のパターンは中心対称で、かつ一方に凸の曲線であり、前記凸の方向に周期が徐々に小さくなることを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【請求項9】 グレーティング部のパターンは直線であり、徐々に周期が変化することを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、回折光学素子、特に、斜め入射光に対してグレーティング周期の小さい領域でも回折効率が良い回折光学素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 回折光学素子は光の回折現象を利用する光学素子であり、複数のグレーティングパターン（回折格子）により構成されている。一般に、回折光学素子では回折効率がどのくらい達成できるかは非常に重要な要素である。従来の回折光学素子として、図9に示すような断面形状が階段状である垂直入射用の回折形のマイクロレンズが知られている。（J. Jahns and S. J. Walke r : " Two-dimensional array of diffractive microlenses fabricated by thin film deposition", Applied Optics Vol. 29, No. 7, pp. 931-936 (1990).）図9において、（a）は平面図であり、（b）及び（c）はその側面断面図である。図9から明らかなように、この従来の回折光学素子は垂直入射光を集光あるいはコリメートするものであり、基板上1に同心円のグレーティングパターン8、8' が設けられている。グレーティングパターン8、8' は、外周に行くにつれてグレーティング周期が小さくなるように構成されている。各グレーティングパターンの断面は階段形状であり、そのステップ数（段数）は（b）に示すような2段階のものや、

（c）に示すような4段階のものから16段階程度のものが考えられている。このような従来の回折光学素子では、グレーティング周期が異なっても、同一の素子では素子全域でグレーティングの階段形状のステップ数はすべて同じであり、また最大膜厚もすべて同じである。（b）に示した2段階の回折光学素子では、入射光を回折できる割合である回折効率は41%であるが、（c）に示した4段階にすると回折効率は81%に向上する。さらに、8段階にすると95%、16段階では99%というように、階段のステップ数が多いほど回折効率が高くなる。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記回折効率及び階段形状の断面を有するグレーティングパターンのステップ数との関係を考慮すると、どのような種類の回折光学素子であっても、階段形状のグレーティングパターンのステップ数が多ければ多いほど回折効率が高くなることは容易に推定される。実際、入射光が垂直方向から傾いた斜入射光になってきた場合、グレーティング周期が大きい領域においては、ステップ数が多いほど回折効率はやはり高かった。しかし、グレーティング周期が入射光の波長に近い領域では、グレーティングパターンのステップ数が多い素子では回折効率が急激に小さくなるという問題点があることを本発明者らは見いだした。さらに、グレーティング周期が入射光の波長に近い領域では、グレーティング周期が小さいため微細加工が難しく、グレーティングパターンのステップ数が多い素子では設計通りの階段形状が実現できず、その結果、光学特性が低下するという問題点も有していた。本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、斜め入射光に対して、回折光学素子全域にわたって回折効率が高く、グ

レーティング周期の小さい領域でも作製が容易な回折光学素子を提供することを目的としている。

#### 【0004】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明の回折光学素子は、基板と、前記基板上に形成したグレーティング部を具備するものであって、前記グレーティング部の断面は階段形状であり、前記グレーティング部の周期に応じて前記グレーティング部の階段形状のステップ数が異なるように構成されている。上記構成において、階段形状のステップ数は、グレーティング部の周期が小さくなるにつれて徐々に小さくなるのが好ましい。また、グレーティング部の周期が入射波長の第1の所定数倍より大きい領域ではステップ数は3以上であり、グレーティング部の周期が入射波長の第1の所定数倍より小さい領域ではステップ数は2であり、前記第1の所定数は1.5～3の間のいずれかの値であることが好ましい。また、ステップ数が2の領域では、グレーティング部のデューティ比（1つの周期における空気層以外の領域の割合）は0.15～0.5の間のいずれかの値であることが好ましい。また、グレーティング部の周期が入射波長の第2の所定数倍より大きい領域ではステップ数は4以上であり、グレーティング部の周期が入射波長の第2の所定数倍よりも小さく、かつ第1の所定数倍より大きい領域ではステップ数は3であり、前記第2の所定数は2～5の間のいずれかの値（ただし、前記第1の所定数は前記第2の所定数よりも小さい）であることが好ましい。また、グレーティング部の周期が入射波長の第3の所定数倍より大きい領域ではステップ数は5以上であり、前記第3の所定数倍より小さく前記第2の所定数倍より大きい領域ではステップ数は4であり、前記第3の所定数は4～7の間のいずれかの値（ただし、前記第2の所定数は前記第3の所定数よりも小さい）であることが好ましい。また、グレーティング部の最大膜厚は、ステップ数に応じて異なることが好ましい。また、グレーティング部のパターンは中心対称で、かつ一方に凸の曲線であり、前記凸の方向に周期が徐々に小さくなるのが好ましい。また、グレーティング部のパターンは直線であり、徐々に周期が変化することが好ましい。

#### 【0005】

【作用】階段状断面を有するグレーティングに対して入射光が垂直方向から傾斜して入射する場合、すべての領域で階段状のステップ数が多いほど回折効率が高くなるのではなく、グレーティング周期に応じて回折効率が高くなるステップ数が存在する。そのため、各グレーティング部の周期に応じてそのグレーティング部の階段状断面のステップ数を最適な値に設定することにより、回折光学素子全域にわたって回折効率が高くなる。また、グレーティング周期が小さくなるほど最適なステップ数が小さくなる傾向があるので、グレーティング周期の小さ

い領域でも作製が容易になる。

#### 【0006】

【実施例】本発明の回折光学素子の第1の実施例を図1から図4までを用いて詳細に説明する。図1において、(a)は本発明の回折光学素子の第1の実施例の基本構成を示す断面図であり、(b)はその平面図である。図2は第1の実施例におけるグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。図3は第1の実施例において、グレーティング部2Aのデューティ比をパラメータとしたグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。図4は第1の実施例における集光の様子を示す図である。図1に示すように、第1の実施例に係る回折光学素子は、基板1及び基板1上に形成されたグレーティング部2を具備する。このグレーティング部2は、グレーティング周期が小さいグレーティング部2Aの領域と、グレーティング周期が大きいグレーティング部2Bの領域とからなる。各グレーティング部2A及び2Bはそれぞれ断面が階段形状である。グレーティング周期が大きいグレーティング部2Bの領域では、階段形状のステップ数は3である。また、グレーティング周期が小さいグレーティング部2Aの領域では、階段形状のステップ数は2である。図2に示すように、グレーティング周期が、例えば入射光の波長の1.6倍より小さい領域はステップ数2のグレーティング部2Aであり、それより大きい領域はステップ数3のグレーティング部2Bである。

【0007】入射光が垂直方向から傾いた斜入射光である場合、グレーティング周期が大きいグレーティング部2Bの領域においては、階段形状のステップ数が多い回折光学素子ほど回折効率は高く、階段形状のステップ数が少ない回折光学素子では回折効率は低かった。しかし、グレーティング周期が入射光の波長に近いグレーティング部2Aの領域では、ステップ数が多い素子は回折効率が急激に小さくなり、一方、階段形状のステップ数が少ない回折光学素子では、グレーティング周期が入射光の波長に近づく領域でも回折効率の低下の割合が小さいか、むしろ回折効率は向上する傾向にあることを本発明者らは発見した。その詳細を以下に述べる。入射光の入射角が $\theta = 20^\circ$ 、グレーティング部2A及び2Bの屈折率が $n = 1.5$ の場合について、回折効率とグレーティング周期との関係を図2に示す。図2において実線で示したように、グレーティング周期が大きい領域2Bでは、ステップ数が3の素子は回折効率は50%を示す。しかし、グレーティング周期が小さくなり、グレーティング周期が入射光の波長の2倍程度の領域2Aになると急激に低下する。一方、点線で示したように、グレーティング周期が大きい領域2Bでは、ステップ数が2の素子は回折効率が30～40%である。しかし、グレーティング周期が小さくなり、グレーティング周期が入射光の波長の2～3倍程度の領域から回折効率は上昇す

る。例えば、グレーティング周期が入射光の波長の1.6倍のところでステップ数が2の素子の回折効率とステップ数3の素子の回折効率が同じになることがわかる。従って、例えばグレーティング周期が入射光の波長の1.6倍より大きい領域ではグレーティング部2の階段形状のステップ数を3とし、これよりグレーティング周期が小さい領域では階段形状のステップ数を2とすることにより、回折光学素子全域にわたって回折効率を高くすることができる。

【0008】従来、グレーティング周期が入射光の波長に近い領域では、グレーティング周期が小さいため微細加工が難しく、ステップ数が多い素子では設計通りの階段形状が実現できず、光学特性が悪くなるという問題点を有していたが、本発明者らはグレーティング周期が小さくなればなるほど最適ステップ数が小さくなる傾向があることを発見したので、それを応用すればグレーティング周期の小さい領域でも回折光学素子の作製が容易になる。すなわち、従来、素子全域でステップ数3の階段形状の回折光学素子を作製しようとした場合、グレーティング周期が大きい領域ではステップ数が3の階段形状の加工は良好にできたが、グレーティング周期が小さな領域では階段形状のエッジ部がだれ、うまく加工できなかった。しかし、本実施例の回折光学素子では、グレーティング周期が入射光の波長の1.6倍より小さい領域では、ステップ数が2の矩形形状でよいから、微細加工が容易になり、設計通りに加工することが可能となる。なお、本実施例では、ステップ数を2と3に切り換える規格化グレーティング周期 $\Lambda/\lambda$  ( $\Lambda$ :グレーティング周期)が1.6の場合について述べたが、ステップ数を切り換える条件は入射光の入射角等によりその最適値は変化するが、 $\Lambda/\lambda=1.5\sim 3$ の範囲内であれば実質的に同様の効果を奏することを確認した。

【0009】第1の実施例の回折光学素子は、例えば口径1mm(円形開口)、入射光の波長が $\lambda=0.6328\mu\text{m}$ 、入射角 $\theta=20^\circ$ 、焦点距離は2.5mmである。ステップ数3のグレーティング部2Bは、グレーティング周期が、例えば1.0 $\mu\text{m}$ から2.0 $\mu\text{m}$ の範囲内にあり、その最大膜厚は、例えば $h_B=0.84\mu\text{m}$ である。また、ステップ数2のグレーティング部2Aは、グレーティング周期が、例えば0.89 $\mu\text{m}$ から1.0 $\mu\text{m}$ の範囲内にあり、その最大膜厚は、例えば $h_A=0.63\mu\text{m}$ である。このように、グレーティング部2A、2Bの最大膜厚は、それらのステップ数に応じて変えてある。ステップ数に応じて最大膜厚を変化させることにより、回折効率を最適化することができる。グレーティング部2Aでは、例えばデューティ比を0.3とした。ここで、デューティ比とは、図1における(a)に示すように、 $d_1/\Lambda_A$ 、すなわち、1つのグレーティング周期において空気層以外の物質が占める割合のことである。図3には、本実施例におけるグレーティング部

2Aのデューティ比をパラメータとした場合における、グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す。図3から明らかなように、特に斜め入射のときには、ステップ数2のグレーティング部2Aのデューティ比を0.15~0.5の範囲内のいずれかの値にすれば、グレーティング周期が入射光の波長の2倍以下の領域において、回折効率が向上することがわかる。

【0010】図4に示すように、上記第1の実施例の回折光学素子は、斜め入射光5を垂直に出射させる(出射光6)透過形のオフアキシスレンズである。オフアキシスレンズとは、入射光の光軸と出射光の光軸が異なるレンズのことである。図4において、光5が伝播する領域の基板1の表面と裏面に反射層4A及び4Bが堆積されており、基板1内を光が繰返し反射されてジグザグに伝播し、グレーティング部2から垂直出射される。斜入射光5を垂直集光光にするために、グレーティング部2のパターン形状は、図1の(b)に示すように中心対称で、かつ一方に凸の曲線であり、上記凸の方向にグレーティング周期が徐々に小さくなり、同時にパターンの曲率も大きくなるような形状に構成されている。さらに詳述すると、図1及び図4に示す座標系において、入射光の波長を $\lambda$ 、基板1の屈折率を $n$ 、入射角を $\theta$ とすると、第1の実施例の回折光学素子の位相シフト関数は、 $\Phi(x, y)=k((x^2+y^2+f^2)^{1/2}+nys\sin\theta-f)-2m\pi$ で表される。ただし、 $k=\lambda/2\pi$ 、 $m$ は $0\leq\Phi\leq 2\pi$ を満たす整数であり、グレーティングパターンの次数を表わしている。この位相シフト関数から、次数 $m$ のグレーティング部2の曲線形状は、中心が $(0, -ns\sin\theta(m\lambda+f)/(1-n^2\sin^2\theta))$ であり、短軸(x軸)の長さ $d_x=2(m^2\lambda^2+2m\lambda f+n^2f^2\sin^2\theta)^{1/2}/(1-n^2\sin^2\theta)^{1/2}$ 、長軸(y軸)の長さ $d_y=d_x/(1-n^2\sin^2\theta)^{1/2}$ である楕円曲線の上端である。

【0011】基板1及びグレーティング部2は使用波長に対して透明であればよく、例えばガラスや合成樹脂等の材料で形成されている。使用光が赤外光の場合、基板1及びグレーティング部2の材料として、SiやGaAs等の半導体も使うことができる。上記第1の実施例の回折光学素子の製造方法として、電子ビーム描画法を用いた。すなわち、例えばPMMAやCMS等の電子ビームレジスト等の電子ビームに感光する合成樹脂を基板1上にコーティングし、合成樹脂コーティング層に電子ビームを照射する。そのとき、製造する回折光学素子の断面形状に応じて、電子ビームの照射量を制御して照射し(ボジ形のレジストでは素子の膜厚が大きいところは電子ビーム照射量を少なくし、現像後の残膜率を大きくする)、現像処理をすることによって、回折光学素子を作成した。なお、回折光学素子の仕様として、上記以外にも目的に応じて任意のものが作製可能である。

【0012】大量生産を行う場合、例えば、ニッケル電

鋳法で金型を作製し、例えば紫外線(UV)硬化樹脂を用いて金型から複製することにより、原盤と同一のレンズ素子を低価格で作製することが可能である。特に、回折光学素子がアレイ状に配列されている場合、この方法を用いることにより、同一特性の回折光学素子を同時に精度よく形成できる。また、例えばイオンビームエッチングにより、合成樹脂(電子ビームレジスト)で形成したグレーティング部2の形状を、例えばガラス基板1に転写することにより、温度的にも非常に安定する。

【0013】次に、本発明の回折光学素子の第2の実施例の基本構成を図5に示す。図5は第2の実施例の基本構成を示す平面図である。なお、上記第1の実施例と同一の部分についてはその説明を省略し、異なる部分について説明する。図5に示すように、グレーティング部2'のパターンは直線であり、徐々にグレーティング周期が変化しているシリンドリカルオフアキシルレンズである。すなわち、第2の実施例の回折光学素子は、斜め入射光を一軸方向(y方向)のみ集光する。なお、断面は図1の(a)に示した構成と実質的に同じである。従って、このような一軸方向のシリンドリカルレンズでも、グレーティング周期が大きい領域ではステップ数を3とし、グレーティング周期が小さい領域ではステップ数を2とすることにより、第1の実施例の回折光学素子と同様の効果を奏する。

【0014】次に、本発明の回折光学素子の第3の実施例を図6、図7及び図8を用いて説明する。図6は第3の実施例の回折光学素子の基本構成を示す断面図である。図7は第3の実施例の回折光学素子における入射光の入射角が $20^\circ$ の場合のグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。図8は第3の実施例の回折光学素子における入射光の入射角が $30^\circ$ の場合のグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。なお、上記第1の実施例と同一の部分についてはその説明を省略し、異なる部分について説明する。図6に示すように、第3の実施例に係る回折光学素子は、最もグレーティング周期が大きい領域(グレーティング部2D")において、階段形状のステップ数は5であり、グレーティング周期が小さくなるにつれて、ステップ数を順に、4(グレーティング部2C")、3(グレーティング部2B")、2(グレーティング部2A")と小さくするように構成されたオフアキシルレンズである。図7から明らかなように、それぞれのグレーティング部の規格化周期 $\Lambda/\lambda$ は、例えば1.2から1.6までの範囲はグレーティング部2A"の領域に相当し、1.6から3.1までの範囲はグレーティング部2B"の領域に相当し、3.1から4.7までの範囲はグレーティング部2C"の領域に相当し、4.7から5.5までの範囲はグレーティング部2D"の領域に相当する。各領域におけるグレーティング部の最大膜厚はそれぞれ、例えば、 $0.633\mu\text{m}$ (グレー

ティング部2A")、 $0.84\mu\text{m}$ (グレーティング部2B")、 $0.95\mu\text{m}$ (グレーティング部2C")、 $1.01\mu\text{m}$ (グレーティング部2D")である。本実施例の回折光学素子は、例えば口径 $1\text{mm}$ (円形開口)、入射光の波長が $\lambda=0.6328\mu\text{m}$ 、入射角 $\theta=20^\circ$ 、焦点距離は $1.4\text{mm}$ である。第1の実施例のオフアキシル形レンズと比較して、焦点距離が短いオフアキシルレンズである。このような焦点距離の短いオフアキシルレンズでは、グレーティング周期の変化の割合が大きくなる。図7に示したように、ステップ数5の回折光学素子の回折効率は、規格化周期が4.7のところでステップ数4の素子の回折効率よりも小さくなる。また、このステップ数4の素子の回折効率は、規格化周期が3.1のところでステップ数3の素子の回折効率よりも小さくなる。同様に、ステップ数3の素子の回折効率は、規格化周期が1.6のところでステップ数2の素子の回折効率よりも小さくなる。従って、各グレーティング部2A"、2B"、2C"、2D"の領域において最適なステップ数を設定することにより、回折光学素子全域にわたって回折効率を大きくすることができる。

【0015】図8に入射光の入射角が $30^\circ$ の場合の第3の実施例の回折光学素子におけるグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す。図8に示すように、入射光の入射角等に基づいてステップ数を変化させる場合、ステップ数を切り換えるべきグレーティング周期の境界値は変化する。しかし、ステップ数を5から4に変化させるべきグレーティング周期が入射光の波長の4~7倍程度の範囲内にあり、またステップ数を4から3に変化させるべきグレーティング周期が入射光の波長の2~5倍程度の範囲内にあり、ステップ数を3から2に変化させるべきグレーティング周期が入射光の波長の1.5~3倍程度の範囲内にあれば、同様の効果を奏することを確認した。

【0016】なお、上記各実施例では、本発明を斜入射光を垂直に集光するオフアキシルレンズに適用した場合について説明したが、オフアキシル形レンズだけでなく他の形式の回折光学素子に適用した場合であっても、入射光が斜め方向の場合に同様の効果を奏する。

#### 【0017】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、回折光学素子の各グレーティング部の周期に応じてグレーティング部の階段形状のステップ数が異なるように構成したので、特に斜め入射光に対して光学素子全域にわたって回折効率を高くすることが可能となる。また、グレーティング周期が小さくなるほど最適なステップ数を小さくすることにより、グレーティング周期の小さい領域でも作製が容易である回折光学素子を実現することが可能となる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】(a)は本発明の回折光学素子の第1の実施例

の基本構成を示す断面図、(b)はその平面図

【図2】第1の実施例におけるグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

【図3】第1の実施例において、グレーティング部2Aのデューティ比をパラメータとしたグレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

【図4】第1の実施例における集光の様子を示す図

【図5】本発明の回折光学素子の第2の実施例の基本構成を示す平面図

【図6】本発明の回折光学素子の第3の実施例の基本構成を示す断面図

【図7】第3の実施例における入射光の入射角が $20^\circ$ の場合グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

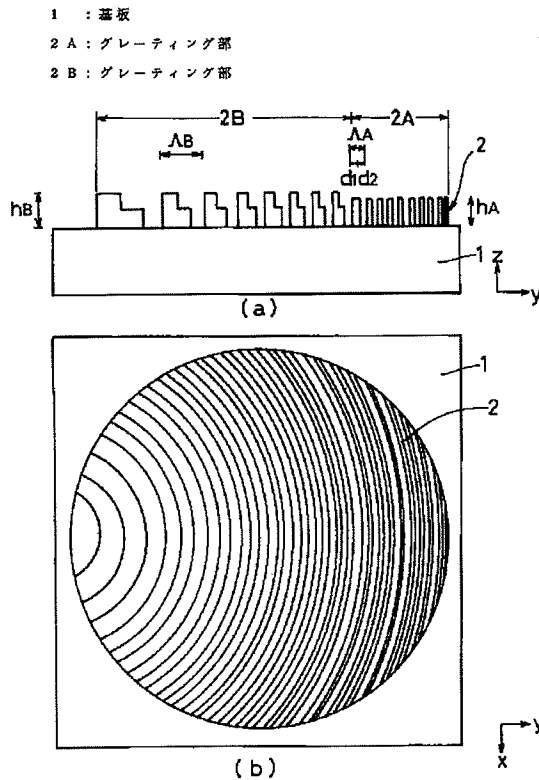
【図8】第3の実施例における入射光の入射角が $30^\circ$ の場合グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

【図9】(a)は従来の回折光学素子の構成を示す平面図、(b)及び(c)はその断面図

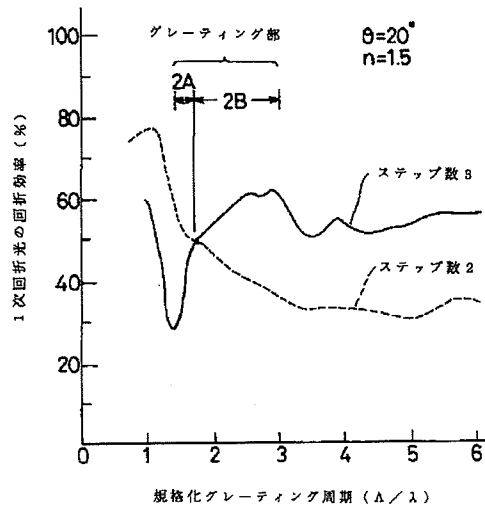
【符号の説明】

- 1: 基板  
2: グレーティング部

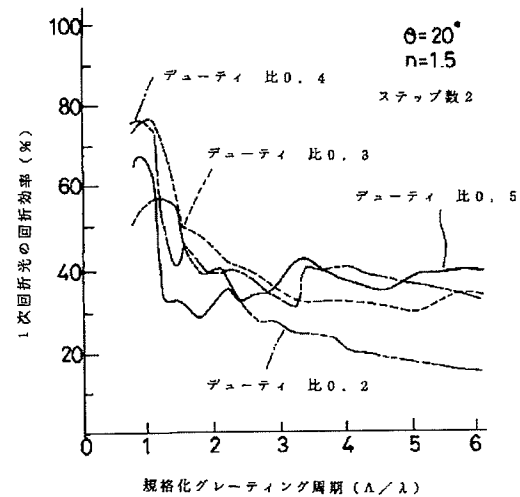
【図1】



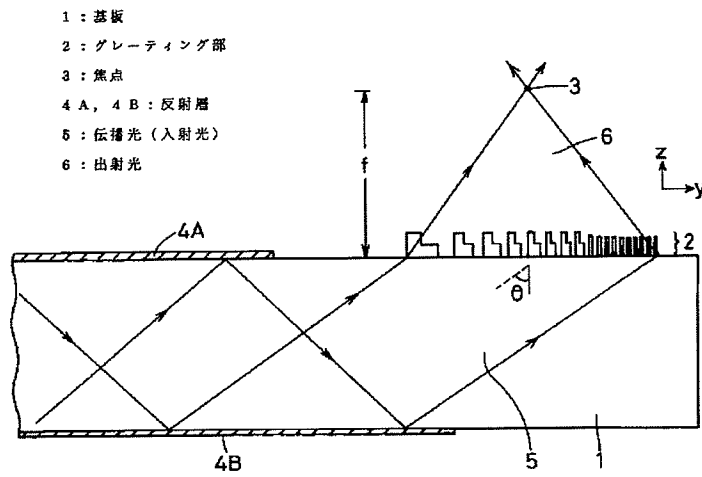
【図2】



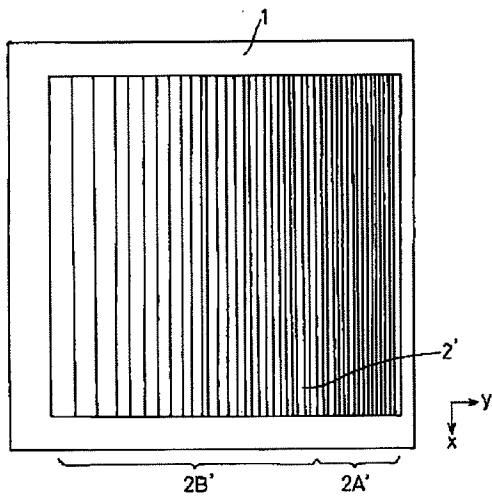
【図3】



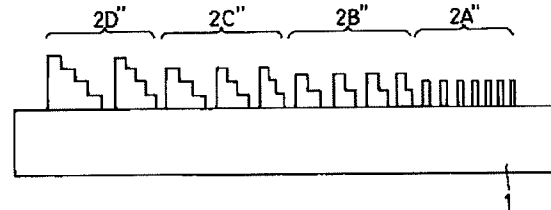
【図4】



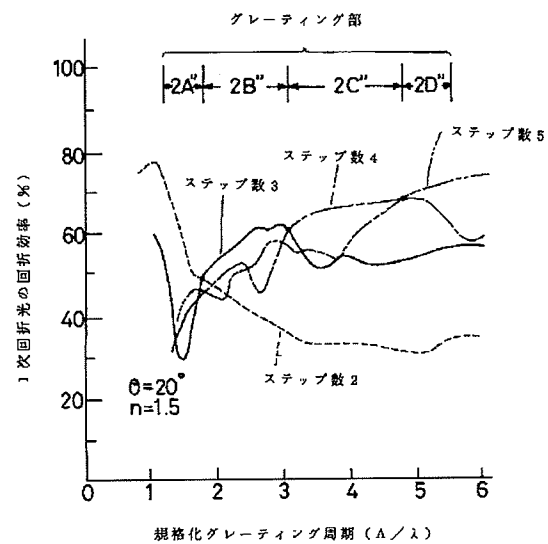
【図5】



【図6】

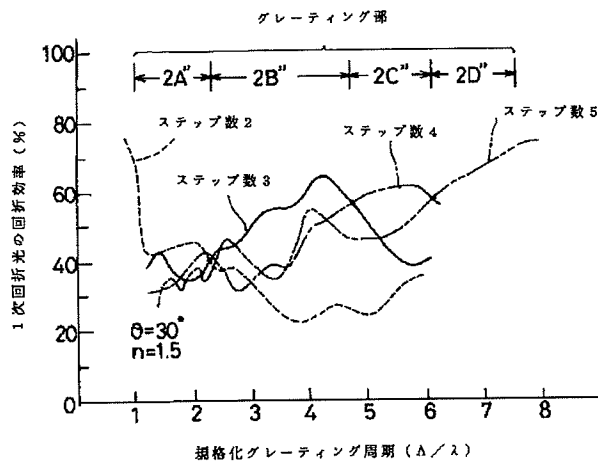


【図7】





【図8】



【図9】

